

**Н. А. Лагунова, А. Ю. Свяжин, М. С. Калиенко, А. В. Волков**

ПАО «Корпорация ВСППО-АВИСМА», г. Верхняя Салда

## **СВЯЗЬ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ С ПАРАМЕТРАМИ СТРУКТУРЫ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ТРУБ ИЗ СПЛАВА Ti-3Al-2,5V**

Исследовано влияние технологических параметров, таких как степень деформации, температура отжига после различных этапов деформации, температура окончательного отжига, на изменение структурного и кристаллографического состояния холоднокатанных труб из сплава Ti-3Al-2,5V.

*Ключевые слова:* холоднокатанные трубы, степень деформации, механические свойства, микроструктура, твердость, кристаллографическая текстура.

**N. A. Lagunova, A. U. Svyazhin, M. S. Kalienko, A. V. Volkov**

## **RELATIONSHIP BETWEEN DEGREE OF DEFORMATION AND PARAMETERS OF STRUCTURE OF COLD-ROLLED TUBES IN Ti-3Al-2,5V**

Influence of process-dependent parameters is analyzed such as: degree of deformation, annealing temperature after different deformation stage, influence temperature of final annealing on change of structural and crystallographic state of cold rolled tubes titanium alloy Ti-3Al-2,5V.

*Key words:* cold rolled tubes, degree of deformation, mechanical properties, microstructure, hardness, crystallographic texture.

На предприятии «ВСППО-АВИСМА» изготавливают холоднокатанные трубы из титанового сплава Ti-3Al-2,5V, которые используются в современных авиационных гидравлических системах. Одними из основных и наиболее важных показателей качества труб, используемых именно для гидросистем, являются усталостные свойства. На данных трубах существуют проблемы нестабильности и низкого уровня усталостных свойств.

Процесс производства труб базируется на использовании высокой степени деформации в холодном режиме — вплоть до 80 %, — и трубы в таком деформированном состоянии оказываются очень прочными, но несколько хрупкими, поэтому на таких трубах проводится «отжиг

для снятия напряжений», в результате которого снимается некоторая часть внутренних остаточных напряжений без рекристаллизации. Такой отжиг обеспечивает эффект увеличения пластичности гидравлических труб при сохранении их высокой прочности.

Можно выделить основные параметры, которые влияют на усталостные свойства труб:

- состояние поверхности трубы: наличие дефектов в виде рисок, царапин, углублений, которые являются концентраторами и чаще всего именно с них начинается разрушение, они могут значительно понизить уровень усталостных свойств;
- состояние материала (плотность дислокаций, размер зерна, ориентация зерна, анизотропия);
- кристаллографическая текстура: в силу уникального характера элементарной ячейки гексагональной, плотно упакованной структуры  $\alpha$ -фазы манипуляция структурой и кристаллографической текстурой позволяет обеспечивать соответствие гидравлических труб из титанового сплава конкретным требованиям, предъявляемым к ним.

Цель данной работы — оценить влияние изменения технологических параметров, таких как степень деформации, температура отжига после различных этапов деформации, температура окончательного отжига, на изменение структурного и кристаллографического состояния материала.

Данная работа является интересной с точки зрения расширенной матрицы эксперимента, в которой сочетаются разные степени деформаций с вариациями температур отжигов между этапами.

Были проведены исследования качества поверхности, микроструктуры, кристаллографической текстуры, твердости холоднокатаных труб  $\varnothing 15,875 \times 0,584$  мм из сплава Gr9, изготовленных по разным технологическим схемам, и получены следующие результаты:

1. Качество поверхности исследованных труб соответствует требованиям, дефектов на поверхности труб в виде рисок, царапин и углублений не выявлено.

2. Микроструктура труб однородная по сечению, соответствует заявленному состоянию. Микроструктура холоднодеформированных труб представлена волокнистой структурой с вытянутыми зёрнами  $\alpha$ -фазы по направлению течения деформации и  $\beta$ -фазой по границам зёрен. После неполного отжига труб при температурах 390–450 °С изменений структуры не выявлено. После отжига при температуре 740 °С микроструктура труб представлена рекристаллизованными зёрнами  $\alpha$ -фазы округлой формы.

3. Твердость труб в холоднодеформированном состоянии составила в среднем  $285 \pm 5$  HV. Значительных изменений твердости после неполного отжига  $390\text{--}550$  °C не выявлено. Наблюдается снижение твердости в среднем на 50 HV после отжига при температуре 740 °C.

4. Кристаллографическая текстура исследованных образцов от труб радиально-окружного типа. Неполный отжиг на промежуточных операциях после холодной деформации труб в целом на текстуру практически не влияет. Отжиг при температуре 740 °C на промежуточных операциях приводит к снижению интенсивности как окружной, так и радиальной составляющей. При этом соотношение данных компонент остается неизменным или незначительно растет.

5. Степень анизотропии зерен задается деформацией: если перед деформацией проводится отжиг 740 °C, то степень анизотропии зависит от последующей степени деформации, если перед деформацией проводят неполный отжиг (550 °C), то возможно увеличение степени анизотропии в результате следующего этапа деформации. Вследствие этого можно сделать вывод, что анизотропия напрямую зависит от степени деформации. Аналогично с плотностью границ и средним размером зерна: если перед деформацией проводят высокий отжиг, то структурные параметры могут не изменяться, а увеличиваться или уменьшаться, все это зависит от изменения степени деформации относительно предыдущего этапа. Неполный отжиг перед деформацией после первого этапа несущественно изменяет структуру, если пользоваться неполным отжигом при нескольких циклах, то это приводит к изменению, а именно увеличению плотности границ, степени анизотропии, уменьшению размера зерна. Значение степени деформации после неполного отжига, реализуемого впервые, несущественно влияет на структуру.